A-Type RC 주탑의 3차원 정보모델과 비선형 구조해석모델 생성을 위한 인터페이스 연구

A Study on 3D CAD/NFEA modeling Interface of A-Type RC Bridge Pylon

엄지영¹⁾, 최샘이²⁾, 이헌민³⁾, 신현목⁴⁾

Eom, Ji-Young¹⁾ • Choi, Saem-Lee²⁾ • Lee, Heon-Min³⁾ • Shin, Hyun-Mock⁴⁾

Received September 11, 2014 / Accepted September 25, 2014

ABSTRACT: As BIM application continues to increase in civil engineering, in this study, 3D information model for RC(Reinforced Concrete) bridge pylon was developed and verified its effectiveness at the structural-design stage. To define 3D information model of RC A-Type pylon, characteristics of pylon were analyzed and 3D model structure was constructed. The 3D information model, one of the core product of BIM, manages all information generated during all life-cycle of a structure and consequently maximizes the efficiency of utilizing information. Also, this study proposes interface module between input data in structural analysis and 3D model of RC pylon. The module can create the input data for non-linear structural analysis. It is essential to study on method of developing 3D information model and propose a structural analysis model by utilizing 3D model for the effective use of BIM techniques in construction industry. The results of this study can be used as the base data for developing the 3D information model of RC pylon in the structural analysis field.

KEYWORDS: BIM, 3D information model, RC pylon, Nonlinear Structural Analysis, 3D parametric modeling

키워드: BIM, 3차원 정보모델, A-Type RC 주탑, 비선형 구조해석, 입력 데이터 생성 모듈

1. 서론

1.1 공공시설물 건설의 BIM 도입

최근 국내·외 공공시설물의 건설시장은 초장대 교량 및 고속 철도 등과 같은 다기능의 복합 시스템화한 구조물에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이며 이러한 수요의 증가는 유기적인 정보 공유를 통한 혁신적인 협업 환경을 제공해 줄 수 있는 건설시스템의 개발을 촉구한다. BIM(Building Information Modeling) 기반의 건설 프로세스 도입은 이러한 요구사항을 충족시켜 줄 수 있는 해결책으로 주목 받고 있다. 국내에서는 이미 최근 건설 분야 공공사업 발주 조건에 BIM의 적용이 의무화되고 있으며, 실무 도입사례가 증가하면서 건설 분야의 BIM 적용이 본격화되고 있다. 특히 조달청은 2012년부터 500억 이상의 터키, 설계 공모 건설공사에 BIM 적용을 의무화하고 있으며 2016년에는 전

체공사를 대상으로 확대할 계획으로 BIM 적용에 대한 효율성에 많은 신뢰도를 가지는 모습을 보이고 있다.

1.2 초기 3차원 정보모델의 구축

BIM기반의 건설 프로세스에서 각 업무 분야 간 의사소통 수단이자 성과물의 기능을 수행하는 것은 3차원 CAD(Computer Aided Design)모델이다. 디지털 모델링 기술의 발달로 3차원 CAD 모델은 형상을 결정해주는 정보는 물론 재료, 공법에 대한 정보의 수용뿐 아니라 시뮬레이션도 가능하며, 해당 정보의 제어로 기존 모델을 수정할 수 있는 3차원 통합정보모델의 개념으로 인식될 수 있기 때문이다.

하지만 이러한 3차원 정보모델의 구축은 BIM기술 도입의 초기에는 비용증가의 원인이 될 수 있는 소지가 있다. 실제 BIM기술이 시범적으로 적용되었던 터키 프로젝트에 참여해 본 국내

¹⁾학생회원, 성균관대학교 대학원 글로벌 건설엔지니어링학과 석사과정 (iamjy1126@naver.com)

²⁾학생회원, 성균관대학교대학원글로벌건설엔지니어링학과석사과정 (saemyi.choi@gmail.com)

³⁾정회원, 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 공학박사 (leeheonmin@hanmail.net) (교신저자)

⁴⁾정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수 (hmshin.skku.edu)

대형 설계사무소 및 건설사에서 BIM설계에 소모되는 비용이 기존의 전통적 설계방식(2차원)에 비해 더 많아 BIM설계 시 설계용역 단가를 높여야 한다는 의견이 팽배해있었다. 그 원인은 기존의 설계방식을 그대로 유지하면서 추가적으로 3차원 모델링을 수행했다는 점에서 찾을 수 있으며, 3차원모델 및 도면생성이 주로 외주로 처리되고 있는 국내 실정은 이를 반영한다. 이를 타개할 수 있는 것은 BIM 초기 데이터 구축단계인 계획과 설계 단계에서의 적극적인 BIM도입이다(이수현 2011).

구조물의 형상 및 재료를 정의하는 수치정보들은 구조 계산으로 정의된다. 구조계산은 기획단계에서 전달되는 해당 구조물에 적용 한계 수치와 설계기준에 부합하는 구조물의 형상을 가정하고 검토하는 구조 설계단계의 업무이다. 따라서 3차원 정보모델의 초기 구축은 구조계산 단계에서 구조물의 예상거동과 구조계산을 통한 형상 및 재료정보의 정의가 유기적으로 수행되는 것이 바람직하며, 이는 계획과 설계 단계에서의 적극적인 BIM 도입으로서 의미가 있다. 건축분야의 경우, 핀란드의 C&J라는 설계사무소에서는 설계자가 직접 BIM 모델링을 수행하여 기존의 2차원 설계방식에 비해 최소 30%에서 최대 50%까지의 비용 절감을 보고 있다고 한다(최철호 2011).

BIM 기술도입의 초기단계인 국내 공공시설물 건설의 설계 분야에서는 BIM 기술 선진국 수준의 적용효과를 도출하기 위해서 3차원 정보모델의 구축 방법 및 BIM기반 구조설계 관련 업무를 위한 어플리케이션의 구축 등 다방면의 연구가 필요하다.

1.3 BIM기반 구조계산업무를 위한 선행 연구

결국 BIM기반의 건설 프로세스에서 구조 계산 단계의 과업은 효율적이며 유기적인 협업이 가능한 3차원 정보모델 생성을 목표로 한다. 이는 구조물의 소요정보를 정의하고 관리하는 새로운 방법을 제시하거나 기존의 방법을 보완하여 모델 생성 자동화 및 관련 구조 계산 업무의 자동화 수행이 가능하게 한다. 더 나아가 이와 관련된 기존 소프트웨어의 보완하거나 실무에 적용할 수 있는 새로운 소프트웨어의 개발을 제안할 수 있다.

이를 위하여 BIM기반 구조계산업무를 위한 선행 연구로 초기 3차원 정보모델의 구축을 위한 방법론적인 연구와 연구의 결과로 생성되는 데이터모델을 활용하여 구조해석모델을 구축하는 방법을 제시하는 연구 등이 다음과 같이 수행된 바 있다.

조성훈(2009)은 PSC 박스 거더교의 3차원 객체 모델 설계를 위한 매개변수 연구를 수행하였다. 대상 모델이 설계변경에 따른 요구조건을 만족하도록 단위 부재별로 구분하여 모델링하고 설계기준을 반영하였으며 3차원 모델과 구조해석 프로그램을 연계하도록 인터페이스 프로그램을 구축하였다.

박재근(2008)은 3차원 객체 모델 생성에 필요한 연관 매개변수모델링 기법과 구조해석에 필요한 다양한 변수를 고려한

모델 분류 체계(PBS, Product Breakdown Structure) 구축 방안을 제시하고 3차원 객체 모델과 구조해석 시스템의 인터페이스 프로그램을 설계하는 방안을 제시하였다.

이외에도 이진경(2011)은 BIM 기반의 구조설계 프로세스 안에서 활용되는 정보를 바탕으로 철근콘크리트 교각의 내진계산서를 도출할 수 있는 프로세스를 제안하였으며, 손유진(2014)은 원형단면 2주형 철근콘크리트 교각을 모델대상으로 선정하여 이에 대한 3차원 정보모델을 생성하였으며 이때 지정된 매개변수를 활용하여 비선형 구조해석 입력 데이터 생성 모듈 구축을 제안하였다.

1.4 연구의 의의와 기대효과

본 연구에서는 사회기반 구조물의 건설 프로세스 혁신을 위한 BIM기술도입을 위한 연구의 일환으로, 구조설계 업무의 관점에서 초기 3차원 정보모델의 생성에 활용되는 정보모델 라이브러리 구축 과정을 자세히 제시하였다. 또한 구조설계 업무의 하나의 파트인 구조해석에 대하여 3차원 모델과의 연동기법을 제시하였다. 라이브러리 구축을 위하여 선정한 구조물은 3차원 정보모델 구축의 사례가 미비한 철근콘크리트 주탑이다.

이러한 연구는 초기 3차원 정보모델의 구축방법을 제시하고 이와 연계된 구조 계산 업무의 자동화 수행이 가능한 프로세스를 구축하기 위한 연구의 일환으로 구조물의 생애주기동안 수반되는 구조해석 및 물량 산출 등 다양한 업무에 직접 연계되어 활용될 수 있을 것이다. 또한 단계별 업무 프로세스가 분절되어 있는 기존 건설 프로젝트를 정보 호환성을 높이고 구체화된 협업을 가능하게 하며, 설계 초반에 발생할 수 있는 설계변경 사례에 효율적으로 대응할 수 있을 것이다.

1.5 연구 방법

본 연구에서는 철근콘크리트 주탑을 대상 구조물로 하여 구조물의 주요 매개변수를 결정하여 3차원 CAD 모델을 구축하고 3차원 CAD 모델 구축 과정에서 생성되는 데이터 파일을 활용하여 비선형 구조해석 모델을 생성할 수 있는 인터페이스를 제시하였다. 적용 구조물은 사장교에서 가장 기본적으로 적용되는 2면 케이블 배치를 갖는 A-Type 형상의 주탑을 대상으로 하였다.

연구의 방법은 Figure 1과 같은 절차로, 구조계산에서 결정되는 데이터들을 기반으로 3차원 CAD 모델과 비선형 유한요소해석(NFEA, Nonlinear Finite Element Analysis)으로의 연동이 가능한 인터페이스 시스템을 구축하는 것이다. 이때, 두 모델(3D CAD/ NFEA model)의 구성에 활용되는 각각의 데이터를 모아놓고 공유하여 정의할 수 있는 주요 저장소인 리포지터리(Repository) 개념의 파일을 생성한다. 양쪽 모델의 구축 시 소요정보를 연관매개변수로 결정하고 구조해석에 필요한 다양한

Figure 1 3D CAD/NFEA modeling process

변수를 고려한 3차원 정보 모델을 구축 방안을 제시하였다.

2. 매개변수 설정 및 공용 데이터 파일의 구축

2.1 매개변수 설정

3차원 정보모델과 구조해석모델의 구축 방법은 설계 변경에 신속히 대비하기 위한 매개변수 모델링 방법을 활용한다. 따라서 두 모델의 구축에 활용되는 매개변수를 선정하고 정의하는데 있어 대상 구조물에 대한 주요설계변수를 파악하고 이와 관련된 모델을 구성하는 모든 변수들의 상호종속관계를 면밀히 파악할 필요가 있다. 또한 설정한 매개변수가 목표 구조물을 구성하는 모델분류체계의 어느 모델의 어떠한 정보를 반영하고 있는지를 명확하게 표현할 수 있도록 설정해야 한다. 협업을 모토로 하고 있는 BIM기반의 건설 프로세스에서는 정보의 표현방법과 체계에 대하여 특정 텍스트가 갖는 의미에 대한 명확한 정의를 위하여 개발된 IFD(International Framework for Dictionaries)와 같은 용어 라이브러리 또는 공유할 수 있는 개념이며 정형화되고 명시적인 명사로 온톨로지(Ontology)에 대한 표준이 되는 국제적인 구성체계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 IFD를 기반으로 A-Type의 RC 주탑에 대하여 해당 매개변수의 용도와 명칭을 설정하였으며, 모델의 구축을 위하여 활용되는 정보들의 상호종속관계를 조사하여 정보의 정의에 있어 최상위에 결정되는 정보를 파악하여 모델링 프로세스에 반영하였다.

2.2 공용 데이터 파일의 구축

3차원 정보모델과 구조해석모델은 구조물의 형상에 대한 치수정보와 해당 구조물을 구성하는 재료에 대한 특성정보 및 기타 여러 가지 정보를 2차원 공간상의 표현 또는 구조해석프로그램이 요구하는 형식의 데이터 배열로서 성립된다. 따라서 각 모델의 구축에 활용되는 정보의 종류를 파악하고 이를 적시에 연계하여 활용할 수 있는 방법에 대한 고민이 필요하다. 본 연구에

서는 구조물의 종류와 구조형식의 수준에 따라 해당 정보들이 체계적으로 정리되어 있는 데이터 리포지터리 개념의 공용 데이터 파일을 구축하여 모델작성을 위한 정보의 정의 및 활용 측면의 다양성에서 발생하는 문제점을 해결하고자 하였다.

2.3 PBS기반의 객체 모델 라이브러리 구축

3차원 CAD 모델의 구현은 최종 목표 구조물을 구성하는 모든 최하위 객체모델을 모델링한 후 상위 프로덕트로의 조합으로 성립된다. 반복되는 구조형상인 경우 매개변수의 조정만으로 원하는 모델을 구현할 수 있기 때문에 처음에 3차원 모델링을 수행할 최하위 객체모델 및 상위 프로덕트의 수를 대폭 축소할 수 있다. 특히 유사형상이 반복되는 구조가 많은 구조물의 경우 이러한 장점을 적극적으로 수용할 수 있는 형태로 모델링 계획을 수립해야 한다. 이러한 모델조합 계획에 대한 정보를 담고 있는 것이 모델 분류 체계(PBS, Product Breakdown Structure)이다. 본 연구에서는 A-Type의 RC주탑의 PBS를 설정하여 각 계층에서 활용되는 객체 및 제품 모델에 대한 라이브러리를 구축하였다.

2.4 NFEA 모델링을 위한 인터페이스 구축

해당 구조물의 비선형 구조해석 모델의 구축은 공용 데이터 모델 상에 존재하는 구조해석을 위한 소요 정보들과 구조해석 수행 시 부과되는 하중 및 경계조건 정보를 연계 및 정의할 수 있고, 해당 정보들을 적용 구조 해석 프로그램의 요구 형식대로 배열이 가능한 인터페이스를 구축하는 것으로 성립된다. 이에 따라 본 연구에서는 A-Type의 RC 주탑의 지진해석모델의 구축을 목표로 하여 비선형 구조 해석 모델링을 위한 인터페이스를 구축하였다.

3. A-Type RC 주탑의 3차원 정보모델 생성

3.1 모델 분류 체계의 설정

철근 콘크리트 구조물의 설계는 설계조건에 따른 단면가정과 하중산정 및 구조해석을 거쳐 부재의 설계로 이어진다. 본 연구에서는 구조설계 흐름에 따른 데이터 연결을 위하여 철근 콘크리트 주탑을 부재단위인 기초부(Footing), 기둥부(Column part), 주탑의 상부(Upper part), 그리고 상판 거더를 지지하는 가로보(Crossbeam)로 총 4개의 부재로 나누고 다시 각 부재를 구성하는 재료인 콘크리트와 철근으로 나누어 모델 분류 체계인 PBS를 구축하였으며 이를 Table 1과 같이 정리하였다. 최하위 단계인 각각의 파트를 조합하여 Sub Product인 기초, 기둥, 주탑의 상부, 가로보를 모델링하고, Sub Product를 조합하여 Target Product인 주탑(Pylon)을 모델링한다.

Table 1 PBS (Product Breakdown Structure) of 3D Information Model of RC Pylon

Target Product	Sub Product	Part	
A-Type RC Pylon	Upper	UC	Upper part Concrete
		URM1	Upper part Reinforcement Main1
		URM2	Upper part Reinforcement Main2
		URC1	Upper part Reinforcement Confining1
		URC2	Upper part Reinforcement Confining2
		URS1	Upper part Reinforcement Stirrup1
		URS2	Upper part Reinforcement Stirrup2
	Column	CC	Column Concrete
		CRM1	Column Reinforcement Main1
		CRM2	Column Reinforcement Main2
		CRC1	Column Reinforcement Confining1
		CRC2	Column Reinforcement Confining2
		CRC3	Column Reinforcement Confining3
		CRS1	Column Reinforcement Stirrup1
		CRS2	Column Reinforcement Stirrup2
	Crossbeam	CbC	Crossbeam Concrete
		CbRM1	Crossbeam Reinforcement Main1
		CbRM2	Crossbeam Reinforcement Main2
		CbRS	Crossbeam Stirrup
	Footing	FC	Footing Concrete
		FRM1	Footing Reinforcement Main1
		FRM2	Footing Reinforcement Main2
		FRC1	Footing Reinforcement Confining1
		FRC2	Footing Reinforcement Confining2

3.2 모델 생성 TOOL - CATIA

본 연구에서는 CATIA를 이용하여 3차원 매개변수 모델링을 수행하였으며, 콘크리트 및 각 종류의 철근을 나누어 파트 라이브러리를 구축하였다. CATIA는 프랑스 Dassault Systems사에서 개발한 강력한 3차원 CAD 프로그램으로 객체 모델을 활용하여 PBS 구현이 가능하고 형상 정보와 속성 정보 및 관련정보를 연계하여 형상 모델 및 PLM(Product Lifecycle Management) 기반 데이터베이스 구축이 가능하다.

3.3 PBS기반의 객체 모델 라이브러리 구축

매개변수 모델링은 각각의 부재단위 파트모델과 재료단위 파트모델인 하위 파트로부터 조합하여 Target Product를 구축할 수 있다. 이 장에서는 철근과 콘크리트 재료 파트 모델의 경우

Table 2 Part Modeling - Column

부재단위 설계에 따라 고려해야하는 다른 점이 있긴 하지만 이는 세부적인 고려사항이며 주요 설계과정에 중복되는 경우가 많이 있으므로 부재수준의 모델인 기둥부 (Column part)를 대표적인 모델링 예로 들어 PBS기반의 객체모델 라이브러리를 구축하는 방법에 대하여 기술하였다. 기둥부의 모델링은 주탑을 이루는 양쪽 기둥이 동일하게 설계되므로 하나의 모델링만으로도 두 기둥부를 표현할 수 있다. 재료에 따라서 콘크리트 (Column Concrete : CC) 와 철근으로 나누어 모델링을 한다. 철근은 배근 형태와 배근 간격에 따라서 주 철근(Column Reinforcement Main)과 구속 철근(Column Reinforcement Confining), 그리고 스티럽 철근(Column Reinforcement Stirrup)으로 나누어 설계 데이터 값을 부여받은 매개변수 모델링을 하였다(Table 2).

주철근(CRM)과 띠철근으로 표현된 구속 철근(CRC)은 중공 콘크리트 단면의 내부, 외부 위치에 따라 CRM1과 CRM2로, CRC1과 CRC2로 파트를 나누었고, 스티럽 (CRS)은 연직방향으로 교차되는 간격에 따라 CRS1, CRS2로 나누어 모델링을 하였다.

기둥부의 모델을 형성하는 각 매개변수는 설계기준을 반영한

설계 데이터에 연결되어 있으며 매개변수 설정은 Table 3과 같다.

Table 3 Parameters of Column
(a) CC (Column Concrete)

CC	Parameters	Definition	Unit
	C_C_W	Width of column concrete	mm
	C_C_D	Depth of column concrete	mm
	C_C_H	Height of column concrete	mm
	C_C_C	Chamfer length of column concrete	mm
	C_C_CA	Angle (Degree) of chamfer	deg
	C_C_TH	Thickness of column concrete	mm
	C_C_CS	Compressive Strength of column concrete	MPa
	C_C_A	Angle between each pylon (Centrosymmetric pylon)	deg

(b) CRM (Column Reinforcement Main)

CRM 1&2	Parameters	Definition	Unit
	C_R_M_H	Height from footing Bottom to upper part	mm
	Main reinforcement 1 : External Part (CRM1)		
	C_R_M1_D	Diameter of Main reinforcement 1	mm
	C_R_M1_L1	1-dir length of Main reinforcement 1	mm
	C_R_M1_L2	2-dir length of Main reinforcement 1	mm
	C_R_M1_C	Chamfer length of Main reinforcement 1	mm
	C_R_M1_CA	Angle(Degree) of chamfer	deg
	C_R_M1_S1	1- dir Spacing	mm
	C_R_M1_S2	2- dir Spacing	mm
	C_R_M1_SC	Chamfer part Spacing	mm
	C_R_M1_CD	Cover depth	mm
	C_R_M1_N1	Number of 1-dir and 2-dir Main reinforcement 1	EA
	C_R_M1_N2	Number of chamfer part Main reinforcement 1	EA
	C_R_M1_N	Total arrangement number of Main reinforcement 1	EA

(c) CRC (Column Reinforcement Confining)

CRC 1&2	Parameters	Definition	Unit
	C_R_C_H	Height from footing Bottom to upper part	mm
	C_R_C_S	3-dir Spacing	mm
	C_R_C_N	Total number of Confining reinforcement	EA
	Confining Reinforcement 1 : External Part (CRC1)		
	C_R_C1_D	Diameter of Confining reinforcement 1	mm
	C_R_C1_L1	1-dir length of Confining reinforcement 1	mm
	C_R_C1_L2	2-dir length of Confining reinforcement 1	mm
	C_R_C1_C	Chamfer length of Confining reinforcement1	mm
	C_R_C1_CA	Angle(Degree) of chamfer	deg
	C_R_C1_N1	Arrange number of Confining reinforcement 1	EA

(d) CRS (Column Reinforcement Stirrup)

CRC 1&2	Parameters	Definition	Unit
	C_R_S_H	Height from footing Bottom to upper part	mm
	C_R_S_S	3-dir Spacing	mm
	C_R_S_N	Total number of Stirrup	EA
	Stirrup 1 : Odd (CRS1)		
	C_R_S1_D	Diameter of Stirrup 1	mm
	C_R_S1_L	Length of Stirrup 1	mm
	C_R_S1_B1	Bending length of Stirrup 1	mm
	C_R_S1_B2	Bending length of Stirrup 1	mm
	C_R_S1_BR1	Bending radius1	mm
	C_R_S1_BR2	Bending radius1	deg
	C_R_S1_S1	1-dir Spacing	mm
	C_R_S1_S2	2-dir Spacing	mm
	C_R_S1_N1	Arrange number of 1-dir Stirrup 1	EA
	C_R_S1_N2	Arrange number of 2-dir Stirrup 1	EA

3.4 A-Type RC 주탑의 3차원 정보모델

앞서 모델링 된 파트 모델을 조합하여 기둥부의 sub product 를 완성하였다(Figure 2). 이와 같은 방법으로 기초, 기둥, 주탑 의 상부, 가로보에 해당하는 각각의 구성 파트는 조립되어 sub product를 형성한다. 이는 target product model의 바로 아래 단계 모델로 총 네 개의 파트가 하나의 sub product model로 완성된 것이다. 이와 동일한 절차로 sub product model를 조합 하여 target product model을 완성한다. 설계 데이터를 임의의 값으로 가정하고 입력하여 매개변수 값이 결정되었을 때, 다음 Figure 3과 같은 모델이 형성된다.

Figure 2 Sub Product - Column (CATIA)

Figure 3 Target Product - A-Type RC Pylon

4. 3차원 정보모델을 활용한 NFEA 모델의 생성

NFEA 모델 생성을 위한 기본적인 방법은 공용 데이터 파일에 연동된 매개변수 데이터를 기반으로 적용 구조해석 프로그램의 요구형식대로 소요데이터를 배열하는 것이다. 해석프로그램에서 요구하는 데이터의 종류는 절점의 좌표와 요소의 구성을 정의하는 메쉬데이터(Mesh Data), 적용 구조해석요소에서 필요로 하는 재료 물성치 및 단면 특성 값을 정의하는 재료 데이터(Material Data), 유한요소모델의 특정 절점에 부과되는 하중을 정의하는 하중 데이터(Load Data)와 구조해석의 결과를 조절하고 해석의 형태를 결정하는 데이터 등으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 A-Type RC 주탑의 비선형 유한요소 구조해석 모델의 생성을 위하여 적용 구조해석 프로그램에서 요구하는 데이터를 분석하고 분석된 데이터들의 정의를 위하여 공용 데이터 파일에 정의된 매개변수를 직접 불러오거나 소요 데이터 산정을 위한 함수의 변수로서 활용되도록 하였다. 또한 정의된 소요 데이터들이 적용 비선형 유한요소 구조해석 프로그램의 요구형식대로 배열되는 데이터 배열 모듈을 구축함으로써 비선형 구조해석 모델과 구조계산 데이터 간의 인터페이스를 구축하였다.

4.1 적용 비선형 구조해석 프로그램 : RCAHEST

본 연구에서는 H. M. Shin 등에 의하여 개발된 철근콘크리트 평면응력요소, 철근콘크리트 쉘요소, 그리고 경계면 요소 등을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP ver. 7.2에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST (Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)를 사용하였다. 이 프로그램은

미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP을 수정, 보완하여 정적 해석과 자유진동 및 강제진동 해석, 응답스펙트럼 해석 등의 동적해석을 수행할 수 있도록 개발된 비선형 유한요소해석 프로그램이다. 적용 구조해석 요소는 RC부재에는 비선형 유연도 기법을 활용한 보·기둥 요소를 사용하였으며 받침을 묘사하기 위하여 탄소성 받침 요소를 사용하였다.

4.2 구조해석 입력 데이터 분석

매개변수 기법을 활용한 3차원 정보모델과 NFEA 모델링과의 연동을 위해서 해석 프로그램에서 필요로 하는 정보를 명확히 하는 작업이 선행되어야 한다. 3D CAD/NFEA 모델링을 위하여 매개변수의 종류와 구성을 설정하고 이를 반영한 공용 데이터 모델을 구축하였다.

본 연구에서는 Table 4에 나타난 것과 같이 모델 형상에 관련된 변수를 크게 치수 매개변수(dimension parameter)와 위치 및 배치 매개변수(location parameter)의 두 종류로 설정하였다. 치수 매개변수는 최하위 파트 모델의 형상결정에 관여하며, 위치 및 배치 매개변수는 파트 모델들의 조합 방법에 관여한다. 또한 모델 형상의 결정 이외에 구조 해석에 사용될 수 있는 데이터로는 콘크리트 탄성계수, 철근 항복강도 등을 포함하는 재료 물성치 매개변수(material parameter) 및 각 절점의 구속 조건을 나타내는 경계조건 매개변수(boundary condition parameter)가 있다. 또한 비선형 유한요소 해석 모델의 구축을 위한 소요 매개변수의 종류는 Table 5와 같다

Table 4 Type of Parameters

type	items
Dimension	Length, Height, Width, Diameter, Pattern number, ...
Location	Cover depth, Spacing, Distance, Position, ...
Material	Elastic Modulus, Yield Strength, ...
B,C	constraint of node

Table 5 Structural Analysis Parameters

Parameters	Parameters for Structural Analysis
Dimension	Respective nodes, Node Coordinate, Section Centroid, Data of plane and line between nodes
Element	Spatial data linked by nodes
Material	Elastic Poisson's Ratio, Cross Section Area, Geometrical Moment of Inertia, Self Weight, Modulus of Elasticity
	Inelastic Compressive Strength of Concrete, Tensile Strength of Concrete, Shear Strength of Concrete, Yield Strength of Steel, Tensile Strength of Steel, Steel Area, Reinforcement Ratio, Steel Type, Yield and Ultimate Strength of Tendon

Figure 4 Common data file for vertical stirrup model of footing part - A type RC pylon

유한요소해석 프로그램에서 필요로 하는 정보는 해석프로그램 내부에 탑재된 재료모델에서 요구하는 정보와 대상구조물의 유한요소 모델링을 위한 정보로 이루어진다. 재료모델에서 요구하는 대부분의 정보는 3차원 모델을 구축하면서 정의한 매개변수들 중에 있지만 적용할 해석 프로그램의 입력 자료 작성 형식에 따라 재료 및 단면 정보를 내부 매개변수를 사용하는 경우가 있으므로 이러한 경우 구조해석을 수행하는 엔지니어가 입력할 수 있도록 설정하는 것이 바람직하다. 또한 이 외에 요소분할 정보와 경계조건 정보는 해석의 다양성 관점으로 구조해석을 수행하는 엔지니어의 판단으로 입력 할 수 있으며 간단하고 빠른 판단이 필요한 경우 이를 함수로 정의하여 모듈 내부에 위치

시킬 수 있다.

이러한 소요 매개변수들로 인하여 반영되는 모델의 정보를 나타내고 매개변수간의 상호종속관계의 표현은 물론 최상위 정보의 정의와 추가설정 정보의 정의를 수행할 수 있는 데이터 리포지터리 개념의 공용 데이터 파일을 스프레드 시트로 구축할 수 있다. Figure 5는 주탑 확대기초부의 공용 데이터 파일로, 주탑 확대기초부의 수직 스트럽 철근의 모델링을 위한 최상위 매개변수를 정의하고 입력된 매개변수에 따라 결정되는 종속 매개변수를 보여준다.

구축된 공용 데이터 파일의 소요정보는 각 모델(3D CAD/NFEA model)에 할당된다.

4.3 NFEA 모델 인터페이스의 구축

본 연구에서는 A-Type RC주탑의 비선형 유한요소해석 모델의 생성을 위하여 적용 구조해석 프로그램의 요구형식에 맞도록 소요데이터를 분류하고 배열 할 수 있는 인터페이스를 구축하였으며 Figure 5와 같은 흐름에 따라 입력파일에서 요구하는 각각의 데이터를 라이브러리로 구축하여 하나의 구조해석모델이 생성될 수 있도록 하였다.

4.4 NFEA 모델의 검증

A-Type RC 주탑에 대하여 장경간 케이블 교량 설계 지침

Figure 5 3D NFEA Modeling Interface

Figure 6 Nonlinear Finite Element Analysis model (RCAHEST)

(안)에 제시된 설계하중조합을 구축된 인터페이스에 적용하여 비선형 유한요소 구조해석 모델을 생성하고, Figure 6과 같이 시간이력해석을 수행하였다.

대상 주탑에 고정하중(DC, DW), 풍하중(W) 및 기타 하중을 재하 하였으며 장경간 케이블교량 설계지침(안)에 명시된 대로 최소 3개 이상의 지반운동 시간이력에 대한 시간이력 해석을 수행하였으며 그 결과를 Figure 7에 나타내었다. 적용 지진파의 종류는 1940년 El Centro 지진파, 1968년 Hachinohe 지진파 및 1978년 Ofunato 지진파이다.

해석 수행 결과 대상주탑의 최대변위응답은 El Centro 지진 파에서 321mm, Hachinohe 지진파에서 465mm, Ofunato 지진 파에서 321mm로 발생하였다. 이러한 인터페이스를 활용하여 생성된 비선형 유한요소 구조해석 모델의 결과를 바탕으로 내진 해석은 물론, 주탑의 사용성 및 강성도를 평가하여 구조 설계단계 시에 대상 구조물의 거동을 반영한 설계의 기초 자료로 활용이 가능할 것이다.

4.5 NFEA 모듈의 검토 및 효과

3차원 정보 모델 라이브러리의 핵심 요소인 부재 수준의 정보 정의 파일의 정보를 활용하여 비선형 구조해석 입력파일 생성을 위한 데이터 배열 모듈을 구축하였으며 이를 활용하면 구조설계업무의 일환으로 수행되는 철근 콘크리트와 같은 복합재료로 구성된 구조의 재료 비선형 구조해석 업무의 효율성을 확보 할 수 있다.

다수의 동일한 철근콘크리트 주탑 구조물에 대하여 3차원 모델을 생성 및 구조해석 모델의 생성을 위한 작업량을 시간으로 환산하고 본 연구에서 제시한 프로세스를 활용한 것과 기존의 방법으로 수행한 각각의 모델 생성 절차에 대하여 분석한 결과 데이터 손실이 없는 높은 수준의 신뢰도를 가지는 3D-CAD, NFEA 모델을 기존대비 약 50%의 M/H(Man/Hour)비용 감소를

(a) El Centro

(b) Hachinohe

(c) Ofunato

Figure 7 Displacement Responses at pylon tip

도출 할 수 있음을 알 수 있었다.

즉, 기존의 방법대로 2차원 도면이나 구조계산 문서의 참조를 통하여 엔지니어 직접 초기 3차원 정보모델을 생성하거나 유한요소 구조해석 모델을 생성할 경우, 초기 3차원 정보모델의 생성에 있어서는 재료수준의 객체모델의 생성과 이를 조합하는데 있어 간섭을 검토하면서 객체모델의 수정을 거듭해야 하는 과정을 거치는 데 주로 많은 시간이 소요된다. 또한 유한요소 구조해석 모델의 생성에 있어서는 해석 대상 교각의 정밀 구조 해석을 목표로 한 적절한 요소 분할과 분할된 요소에 정의되는 재료 모델 소요 데이터의 산정 및 정의에 주로 많은 시간이 소요된다. 그러나 본 연구를 통하여 구축한 3차원 정보모델 및 구조

해석 모델 생성을 위한 통합 프로세스를 활용하면 초기에 프로세스 내부 모듈의 구축을 위하여 소요되는 시간이 존재하지만, 이후 공정의 경우 데이터의 입력에 대한 모델의 검토만으로 초기 3차원 정보모델과 구조해석 모델이 생성될 수 있게 됨으로써 설계의 경제성과 효율성의 개선효과가 얻어질 수 있게 된다.

5. 결론

본 연구는 A-Type의 철근 콘크리트 주탑의 3차원 정보 모델을 생성하고 생성된 모델을 이용하여 BIM 기반 구조설계 프로세스 구축의 일환으로 수행되었다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 대상 모델은 A-Type의 철근 콘크리트 주탑을 선정하여 매개변수 모델링을 수행하였다. 매개변수 생성은 각각의 수치를 직접 하나의 매개변수로 지정하는 방법과 연관 변수간의 함수를 작성하여 연관 매개변수를 설정하는 방법을 적용하여 적절한 규칙을 가질 수 있도록 하였다.

둘째, 3차원 매개변수 모델 형성 시 선정된 매개변수를 활용하여 비선형 구조해석 프로그램(RCAHEST)의 입력 데이터를 생성할 수 있는 모듈을 제안하고, 구축한 모듈을 통하여 생성된 입력 파일로 구조해석을 실시하여 해석 결과에 대하여 고찰하였다.

본 연구의 결과는 A-Type의 철근 콘크리트 주탑에 대한 BIM 기반 구조설계 프로세스 구축을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되고, 생성된 3차원 정보 모델과 입력 파일 생성 모듈을 통해 BIM 기반 설계 업무의 효율성을 제고할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설기술혁신사업(과제 번호 : 06첨단융합 E01)의 지원에 의해 수행되었기에 감사를 드립니다.

References

Choi, C. H. (2011), "What is the problem in Introducing BIM technology?", KIBIM Magazine, SPECIAL ISSUE, 1(1):pp. 16-19.
Jo, S. H. (2009), "A Parametric Study on 3D Based PSC Box

Girder Design", Masters Thesis, Sungkyunkwan Univ.
Jung, H. S. (2006), "A Study of the Parametric Structure Analysis Method for Multi-Disciplinary Optimization Design", Masters Thesis, Gyeongsang National Univ.
Kang, L. S., Kim, S. G., Kim, H. S. and Moon, H. S. (2011), "BIM application for civil engineering project in planning and design phases," Journal of KBIM, 1(1):pp.26-31.
Lee, S. H.. (2011), "Overseas Application Examples of CIVIL BIM", KIBIM Magazine, Case Studies, 1(1):pp.45-48.
Lee, H. M.. (2014), "A Study on the Interface Process for the BIM Based Structural Analysis Using PBS Information Library", Doctorate Thesis, Sungkyunkwan Univ.
Lee, H. M., Lee, J. K., Yoo, J. M. and Shin, H. M. (2011), "Seismic analysis process of steel box girder bridge based on BIM," Journal of Computational Structural Engineering, 24(4):pp.421-428.
Lee, H. M., Hwang, C. H., Cheon, J. H. and Shin, H. M. (2012), "3D-parametric modeling of RC-bridge column based on nonlinear finite element analysis," Journal of the Korea Concrete Institute, 24(2):pp.561-562.
Lee, J. K. (2012), "Seismic Analysis Process with 3D Information Model", M. S. Dissertation, Sungkyunkwan Univ.
Park, J. G., Kim, M. H., Lee, G. M., Choi, J. H. and Shin, H. M. (2008), "Design of interface between 3D object model and structure analysis program," Journal of Computational Structural Engineering, 21(3):pp.247-252.
Shin, H. M. (2008), "User manual for RCAHEST material model", Korea Bridge R&D Center.
Son, Y. J., Shin, W. C., Lee, S. C., Lee, H. M., Shin, H. M. (2013), "3D Parametric Modeling of Piers and Development of Data Generation Module for Structural Analysis with 3D Model of RC Piers" Journal of KIBIM, 3(3):pp.19-28.
Super Long Span Bridge R&D Center, "Design Guidelines of Long Span Cable-Supported Bridges", Ver 13.1, (<http://www.longspanbridge.org>)